

УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОБРАБОТКИ КАК ФАКТОРА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Андилахай В.А.

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

В работе проведен теоретический анализ условий уменьшения энергоемкости обработки как фактора повышения качества и долговечности деталей машин. Приведена аналитическая зависимость для определения энергоемкости обработки и показаны практические примеры по ее уменьшению

Долговечность деталей машин во многом зависит от качества их механической обработки – наличия различного рода температурных и силовых дефектов в поверхностном слое обработанной детали [1]. Мерой интенсивности воздействия режущего инструмента на обрабатываемую деталь является энергоемкость обработки, равная количеству энергии, затрачиваемой на съем единицы объема материала. Экспериментально установлено, что данная величина может изменяться в очень широких пределах. Так, при лезвийной обработке она значительно меньше, чем при абразивной обработке. Этим можно объяснить, что при шлифовании на обрабатываемых поверхностях чаще появляются прижоги, микротрещины и другие дефекты температурного и силового происхождения. Поэтому изучение закономерностей изменения энергоемкости обработки, в особенности при шлифовании, представляет большой практический интерес. Цель работы – теоретический анализ возможностей уменьшения энергоемкости обработки как одного из основных факторов повышения качества и долговечности деталей машин.

Традиционно считается, что более высокая энергоемкость обработки при шлифовании обусловлена отрицательными передними углами режущих зерен. Исходя из этого, в работе [2] получены аналитические зависимости, описывающие основные параметры шлифования, включая производительность обработки, силу резания и упругие перемещения, возникающие в технологической системе. При этом энергоемкость обработки во времени остается постоянной и изменяется лишь в связи с износом и затуплением режущих зерен. В действительности, процесс шлифования подчиняется более сложным закономерностям. Установлено, что энергоемкость обработки в общем случае обусловлена не только процессом резания зернами круга, но и трением обрабатываемого материала (обра-

зующихся стружек) со связкой круга. Причем, доля энергии трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования значительно больше, чем доля энергии резания. Это связано, прежде всего, с существованием так называемой предельной производительности обработки, обусловленной высотой выступления режущих зерен над уровнем связки круга. Превышение предельной производительности приводит к интенсивному трению обрабатываемого материала (образующихся стружек) со связкой круга и возникновению значительных упругих перемещений в технологической системе. А это вызывает рост силы и температуры резания и ухудшает качество обработки.

Для анализа закономерностей изменения энергоемкости обработки рассмотрим процесс плоского шлифования по жесткой схеме с номинальной глубиной шлифования t . Будем считать, что энергоемкость обработки обусловлена лишь процессом трения, имеющим место при шлифовании. Предположим, что режущей способности круга недостаточно для удаления слоя материала толщиной t , т.е. круг может срезать лишь слой материала толщиной $t_\phi < t$. Тогда энергоемкость обработки σ при первом продольном ходе круга равна [3]:

$$\sigma_1 = \frac{P_z}{S_{\text{сум}}}, \quad (1)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; $S_{\text{сум}} = Q/V_{\text{кр}}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; $Q = B \cdot V_{\text{дет}} \cdot t_\phi$ – производительность обработки, м³/с; B – ширина шлифования, м; $V_{\text{дет}}, V_{\text{кр}}$ – соответственно скорости детали и круга, м/с; t_ϕ – фактическая глубина шлифования, м.

Тангенциальную составляющую силы резания P_z можно выразить через радиальную составляющую силы резания $P_y = c \cdot y$:

$$P_z = P_y \cdot K_{\text{ш}} = c \cdot y \cdot K_{\text{ш}}, \quad (2)$$

где c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; y – величина упругого перемещения в технологической системе, м; $K_{\text{ш}} = P_z/P_y$ – коэффициент шлифования.

Подставляя зависимость (2) в (1) с учетом $y = t - t_\phi$, имеем

$$\sigma_1 = \frac{c \cdot y \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}{B \cdot V_{\text{дет}} \cdot t_\phi} = \frac{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}{B \cdot V_{\text{дет}}} \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1 \right). \quad (3)$$

Как видно, с уменьшением параметра t_ϕ , т.е. с увеличением величины упругого перемещения y , энергоемкость обработки σ_1 увеличивается. При $t_\phi = t$ энергоемкость обработки σ_1 равна нулю. Это возможно в случае отсутствия трения обрабатываемого материала со связкой круга, т.е. когда в общем энергетическом балансе процесса шлифования преобладает доля энергии резания зернами круга. Однако в настоящей работе рассматривается лишь доля энергии трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

При втором проходе круга зависимость (3) остается прежней с тем отличием, что вместо величины y надо рассматривать $2y$. Соответственно, при третьем проходе круга вместо величины y надо рассматривать $3y$ и т.д. В конечном итоге при n -ном проходе круга зависимость (3) примет вид:

$$\sigma_n = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дем}} \cdot n \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1 \right). \quad (4)$$

Наличие множителя n в зависимости (4) указывает на весьма интенсивное увеличение энергоемкости обработки с увеличением количества проходов круга. Этим, собственно, можно объяснить то, что энергоемкость обработки при шлифовании многократно превышает энергоемкость процесса резания отдельным зерном. С физической точки зрения это обусловлено наличием значительных упругих перемещений в технологической системе и интенсивным трением обрабатываемого материала со связкой круга. Причем, как следует из зависимости (4), увеличение энергоемкости обработки не связано с затуплением зерен круга, хотя, несомненно, появление на зернах круга площадок износа приведет к еще более интенсивному увеличению энергоемкости обработки.

Таким образом, показано, что основной причиной увеличения энергоемкости обработки при шлифовании является относительно низкая режущая способность круга, в результате чего на обрабатываемой поверхности образуются “недорезы” величиной $t - t_\phi$ после каждого прохода круга. Для каждой характеристики круга существует своя вполне конкретная величина “недореза”, соответствующая определенной производительности обработки. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными. Так, установлено, что производительность обработки во времени остается фактически неизменной для каждой характеристики абразивного и алмазного круга, работающего в режиме самозатачивания. При этом составляющая силы резания во времени увеличивается за счет возникающих в технологической системе упругих перемещений, компенси-

руя таким образом не удаленный материал в виде “недореза”. Чем больше величина “недореза”, тем больше энергоемкость обработки, а следовательно, интенсивность трения обрабатываемого материала со связкой круга, что может привести к его засаливанию и потере режущей способности. С другой стороны, увеличение энергоемкости обработки, как показано в работе [4], является основной причиной увеличения температуры шлифования и появления температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях.

Используя зависимость (4), проанализируем основные пути уменьшения σ_n . Они состоят, главным образом, в увеличении фактической глубины шлифования $t_\phi \rightarrow t$, поскольку в этом случае $\sigma_n \rightarrow 0$, т.е. исчезает доля энергии трения при шлифовании. Увеличить t_ϕ можно разными методами. Во-первых, применением эффективных методов правки круга, обеспечивающих увеличенное выступание вершин зерен над уровнем связки, достаточное для удаления снимаемого слоя материала толщиной t_ϕ и свободного размещения образующихся стружек и других продуктов обработки в межзеренном пространстве круга. Эффективно в данном направлении применение высокопористых кругов, а также электрофизикохимических методов правки алмазных кругов на металлических связках, таких как электроэрозионное и электрохимическая правка. При непрерывной правке алмазного круга они обеспечивают бесконтактное удаление тончайших слоев металлической связки, своевременное выпадение из связки затупившихся алмазных зерен и частичное сгорание образующихся стружек (в условиях электроэрозионной правки или так называемого процесса алмазно-искрового шлифования [5], основанного на введении в зону резания дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов). Это обеспечивает постоянную высокую режущую способность алмазного круга и значительное выступание зерен над уровнем связки, что позволяет осуществлять съем припуска с фактической глубиной шлифования t_ϕ равной номинальной глубине шлифования t . В результате практически исключается доля энергии трения из общего энергетического баланса процесса шлифования. В данном случае доля энергии резания в общем энергетическом балансе процесса шлифования составляет почти 100%. Таким образом появляется возможность устранения составляющей энергоемкости обработки σ_n , определяемой зависимостью (4).

Как доказано практикой, важным путем увеличения $t_\phi \rightarrow t$ является реализация динамических эффектов при шлифовании, например, за счет использования метода прерывистого шлифования [1], когда обработка

производится шлифовальным кругом с чередующимися выступами и впадинами. Данный метод реализует два эффекта обработки. Во-первых, в момент прохождения впадины круга происходит остывание обрабатываемой поверхности, что снижает температуру шлифования. Во-вторых, в период контакта режущего выступа круга с обрабатываемой поверхностью технологическая система не успевает среагировать на импульс силы и получить перемещение, соответствующее статическому значению от действия кратковременно приложенной силы. В итоге режущие зерна глубже внедряются в обрабатываемый материал и по сути позволяют выполнить условие $t_{\phi} \rightarrow t$. При этом за счет ударного характера взаимодействия круга с обрабатываемой деталью происходит непрерывная правка круга, что обеспечивает его высокую режущую способность. Экспериментально установлено, что энергоемкость обработки при прерывистом шлифовании существенно уменьшается и, прежде всего, за счет уменьшения трения связки круга с обрабатываемым материалом. В общем энергетическом балансе процесса шлифования преобладает энергия резания. Таким образом показано, что прерывистое шлифование в отличие от других процессов шлифования обладает двойным эффектом: обеспечивает снижение температуры шлифования и эффективную непрерывную правку круга. Это открывает широкие возможности его эффективно использования на практике.

Приведенные выше примеры предполагают применение или новых конструкций шлифовальных кругов (прерывистых кругов), или новых электрофизикохимических методов их правки. На самом деле выполнить условие $t_{\phi} \rightarrow t$ можно за счет правильного выбора характеристики круга для заданной производительности обработки или, наоборот, за счет определения оптимального режима шлифования для конкретной характеристики круга. Для этого необходимо провести экспериментальные исследования по установлению производительности обработки и силы резания во времени и выбрать тот вариант, при котором производительность обработки и сила резания будут оставаться постоянными с течением времени обработки.

Список использованных источников

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.7. “Точность обработки деталей машин” – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с.

3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.8. “Оптимизация технологических процессов в машиностроении” – Одесса: ОНПУ, 2004. – 508 с.

4. Новиков Ф.В. Математическая модель определения температуры при шлифовании на основе учета баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – 2007. – Вип. 61. – С. 23-33.

5. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Харьк. гос. техн. ун-т. – Харьков, 1995. – 56 с.

Анотація

УМОВИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСЬМНОСТІ ОБРОБКИ ЯК ФАКТОРА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ Й ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Андилахай В.А.

У роботі проведений теоретичний аналіз умов зменшення енергосьмності обробки як фактора підвищення якості й довговічності деталей машин. Наведено аналітичну залежність для визначення енергосьмності обробки й показані практичні приклади по її зменшенню

Abstract

TERMS OF REDUCING ENERGY INTENSITY OF PROCESSING AS A FACTOR IN IMPROVING THE QUALITY AND DURABILITY OF MACHINE PARTS

V. Andylahay

In this paper, a theoretical analysis of the conditions of reducing energy-intensity of processing as a factor in improving the quality and durability of machine parts. An analysis to determine the energy dependence of the processing and show practical examples of its reduction